

П. Ф. ЩАПОВ, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;

И. И. КАМБАЕВ, аспирант НТУ «ХПИ»;

М. П. РЕБЕНОК, студентка НТУ «ХПИ»;

И. А. ТАРАН, студентка НТУ «ХПИ»

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Рассмотрена структурная схема информационных преобразований в многоканальной ИИС контроля и диагностики. Определены условия планирования измерительных экспериментов на этапе обучения системы контроля.

Ключевые слова: контроль, первичный преобразователь, информация, модель, дисперсия, фактор, неопределенность.

Постановка проблемы. Основой повышения эффективности промышленного производства, качества продукции, надежности промышленного оборудования является совершенствование методов неразрушающего контроля и функциональной диагностики, расширения номенклатуры объектов и параметров контроля независимо от их физической или функциональной сложности. В отличие от объектов с повторяющимися свойствами (серийно выпускаемая продукция, типовые технологические операции и т.д.), объекты с неоднозначными или меняющимися во времени свойствами (сельскохозяйственное сырье, технологические процессы, изоляция энергетического оборудования, биологические системы и т.д.) характеризуются значительной неопределенностью своих параметров. Для их контроля, наряду с традиционными средствами и методами, необходимо привлекать новые информационные технологии при обучении систем контроля, уменьшающих неопределенность последующих решений. Иначе достоверность и, следовательно, эффективность контроля останется невысокой.

Анализ литературы. Существующие тестовые, структурно-алгоритмические методы повышения достоверности контроля позволяют корректировать параметры ИИС контроля и диагностики за счет адаптивных процедур увеличения точности измерений, при нормированной неопределенности контролируемых статических параметров [1–3]. Для совершенствования методов повышения достоверности, с учетом изменений во времени вероятностных свойств контролируемых измерительных динамических сигналов, особенно при неразрушающем контроле и мониторинге сложных объектов, используют для обучения систем контроля статистические методы, базирующиеся на вероятностных моделях в виде временных рядов с разными видами нестационарности, особенно по математическому ожиданию [4, 5].

Информационные модели параметрической оптимизации ИИС контроля и диагностики практически не используются.

Цель статьи. Показать возможности математических моделей информационной теории измерений для планирования числа каналов и количества многократных группированных измерений при синтезе ИИС контроля и диагностики сложных объектов с частичной неопределенностью физических свойств.

Структурная модель информационных преобразований. Рассмотрим обобщенную структурную схему получения и преобразования измерительной информации о значении контролируемого параметра Y по результатам измерения X_1^*, \dots, X_k^* значений контролируемых величин (рис. 1).

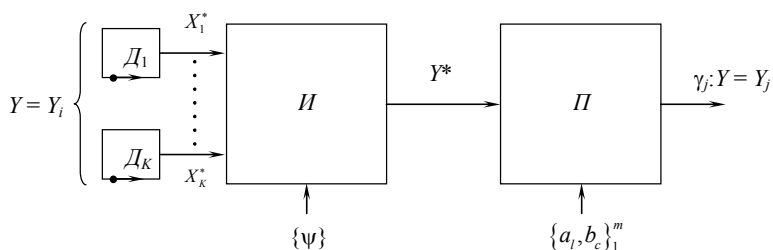


Рис. 1– Структурная схема информационных преобразований

Блок $И$ (измерение) осуществляет преобразование измеренных значений X_1^*, \dots, X_k^* контролируемых величин, полученных первичными преобразователями (датчиками) D_1, \dots, D_k , в оценку Y^* значения параметра Y

$$Y^* = \mathcal{E}(X_1, \dots, X_n | a_1, \dots, a_p), \quad (1)$$

где a_1, \dots, a_p – коэффициенты математической модели $\mathcal{E}(\square)$ преобразования $M[Y] = F(M[X_1], \dots, M[X_k])$.

Такая структура эквивалентна ИИС контроля и диагностики с k входными измерительными каналами. Оценка коэффициентов a_1, \dots, a_p производится на этапе изучения объекта контроля по выборке объема n для каждой из фиксированных величин $Y_j, j = \overline{1, m}$ уровней параметра Y (этап обучения системы контроля). Блок $П$ (принятия решений) осуществляет выбор $\{a_l, b_c\}_1^m$ одного $\gamma_j \{a_l, b_c\}_1^m$ из множества $\{\gamma_l\}_1^m$ решений о значении Y , после сравнения Y^* с нормой $(a_l, b_l), l = \overline{1, m}$ в соответствии с правилом выбора решения

$$\forall Y^* [Y^* \in (a_j, b_j) \rightarrow Y^* \in Y_j]. \quad (2)$$

Множество $\{\Psi\}$ – это факторы, влияющие на правильность выбора модели преобразования $\mathcal{F}(\cdot)$ и на точность оценивания коэффициентов a_1, \dots, a_p этой модели.

Найдем оценку количества информации о параметре Y , предполагая, что ширина Δ допусковых интервалов $(a_j, b_j), j = \overline{1, k}$ одинакова, а общее их число равно k . В этом виде количество информации определяется разностью исходной $H(Y)$ и условной $H(Y|Y_j)$ энтропии [6, 7]

$$I = H(Y) - H(Y|Y_j),$$

где $H(Y) = -\sum_{j=1}^k \left[\int_{a_j}^{b_j} f(y) dy \right] \ln \left[\int_{a_j}^{b_j} f(y) dy \right];$

$f(y)$ – плотность распределения величины Y в диапазоне A_y .

Условную энтропию определим через условную вероятность $P(Y_i|Y_j)$ того, что истинное значение $M[Y] = Y_i$, в то время как результат контроля (решение y_j) дал значение $Y = Y_j$:

$$H(Y_i|Y_j) = -\sum_{i=1}^k P(Y_i|Y_j) \ln P(Y_i|Y_j).$$

При равновероятном распределении значений Y_1, \dots, Y_k и нормальном законе распределения отклонения Y^* от действительного значения $M[Y] = \text{const}$, если дисперсия этого отклонения равна σ_y^2 , имеем [7]:

$$H(Y) = \ln \frac{A_y}{\Delta};$$

$$H(Y|Y_j) = \ln \frac{\sigma_y \sqrt{2\pi e}}{\Delta}.$$

Оценка снизу количества информации, с учетом двух последних выражений [6], имеет вид:

$$I = \ln \frac{A_y}{\sigma_y \sqrt{2\pi e}}. \quad (9)$$

Рассмотрим теперь СКО σ_y , предполагая, что модель $\mathcal{F}()$ представлена линейной множественной регрессией [8]

$$\mathcal{F} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i.$$

Пусть, для простоты анализа абсолютные погрешности определения коэффициентов a_0, \dots, a_k одинаковы и равны Δ_{Ψ} , что обусловлено фактором Ψ (ограниченность обучающей выборки объемом n). И пусть контролируемые

величины X_1, \dots, X_k являются независимыми и имеют одинаковую размерность и дисперсии $\sigma_{X_1}^2 = \sigma_{X_2}^2 = \dots = \sigma_{X_k}^2 = \sigma_X^2$.

В этом случае дисперсия σ_y^2 может быть представлена выражением:

$$\sigma_y^2 = \Delta_\Psi^2 (1 + k\sigma_X^2) n^{-1}.$$

При многократных измерениях параметра Y (число измерений равно N) имеем:

$$\sigma_y^2 = \Delta_\Psi^2 \left(1 + \frac{k}{N} \sigma_X^2 \right) n^{-1}.$$

Подставляя последнее выражение в уравнение (3) получим:

$$I = \ln \frac{A_y}{\Delta_\Psi \sqrt{2\pi e \left(\frac{1}{k} + \frac{\sigma_X^2}{N} \right)}} \sqrt{\frac{n}{k}}. \quad (4)$$

Анализ информационной модели. Выражение (4) можно рассматривать, как количество ожидаемой измерительной информации [6] о контролируемой величине Y при неустранимой дисперсии σ_X^2 входных измеряемых величин X_1, \dots, X_k . Существование этой дисперсии (одинаковой, в данном примере, для всех входных величин) не мешает увеличивать количество измерительной информации, для задач контроля, за счет увеличения k этих величин. Однако, в этом случае, отношение объема обучающих выборок n к числу k входных величин должно оставаться величиной либо постоянной, либо тоже увеличиваться. Это означает, что объем обучающей выборки должен расти, по мере привлечения для контроля новых входных величин. Фактически должно соблюдаться условие:

$$n / k = \text{const}. \quad (5)$$

Оно хорошо согласуется с известными положениями теории классификации сигналов в условиях неопределенности [9] и дискриминантного анализа [10-11]. Наличие в знаменателе, под знаком логарифма в выражении (4), смещения Δ_Ψ указывает на то, что этап обучения системы контроля или диагностики играет важную роль. Он определяет величину неустранимых систематических смещений при оценках коэффициентов модели измерительного преобразования. Уменьшить эти смещения, а, следовательно, повысить достоверность контроля за счет увеличения количества информации, можно лишь увеличивая объем обучающей выборки n . Повышение лишь числа N многократных измерений не устраняет негативные эффекты факторов $\{\Psi\}$.

Завершая анализ информационных свойств системы контроля (диагностики) объектов со случайными параметрами, следует сказать, что

величини k , n , N , а також число рівней m контролююмого параметра не можуть вибиратися поодинокі. Вони взаємозв'язані в рамках моделі (4) і вибір їх – це оптимізаційна задача, в якій критерієм якості є кількість можливої очікуваної інформації.

Висновки. 1. Отримано умову (5) вибору числа вимірювань n при фіксованому значенні кількості входних каналів ІИС.

2. Визначені умови підвищення числа входних каналів без зменшення достовірності контролю, якщо велика неопределенність входних вимірюваних величин.

Список літератури: 1. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навч. посіб. / Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с. 2. Кондрашов С. І. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах : Монографія / С. І. Кондрашов. – Х. : НТУ «ХПІ», 2004. – 224 с. 3. Евтухов П. С. Властивості алгоритму корекції систематичних похибок з використанням розрахункових поправок. / П. С. Евтухов // Методи та прилади контролю якості. Івано-Франківськ – 2006. – № 16. – С. 93 – 94. 4. Малайчук В. П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю: [навч. посіб.] / В. П. Малайчук, О. В. Мозговой, О. М. Петренко – Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2001. – 240 с. 5. Малайчук В. П. Обработка многомерных нестационарных случайных пространственно-временных рядов в задачах мониторинга. / В. П. Малайчук, А. В. Мозговой // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ – 2005. – № 15 – с. 90-93. 6. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники / П. П. Орнатский – К. : Вища школа, 1983. – 455 с. 7. Рабинович В. И. Информационные характеристики средств измерения и контроля / В. И. Рабинович, М. П. Цапенко – М. : Энергия, 1968. – 91 с. 8. Володарський Є. Т. Статистична обробка даних: [навч. посіб.] / Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – К. : НАУ, 2008. – 308 с. 9. Montgomery D. C. Introduction to Statistical Quality Control / D. C. Montgomery – [4th ed] – New York : John Wiley & Sons, 2001. – 796 p. 10. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке : Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. под ред. Э. К. Лецкого. – М. : Мир, 1981. – 520 с. 11. Шефе Г. Дисперсионный анализ / Г. Шефе; пер. с англ. Б. А. Севостьянов. – [2-е изд.] – М. : Наука, 1980. – 512 с.

Поступила в редколлегию 04.02.2013

УДК 621.317

Інформаційна модель багатопараметричного контролю / П. Ф. Щапов, І. І. Камбаєв, М. П. Ребенко, І. А. Таран // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 8(982). – С. 120-124. – Бібліогр.: 11 назв.

Розглянута структурна схема інформаційних перетворень у багатоканальній ІВС контролю і діагностики. Визначені умови планування вимірювальних експериментів на етапі навчання системи контролю.

Ключові слова: контроль, первинний перетворювач, інформація, модель, дисперсія, фактор, невизначеність.

The structural diagram of the information transformation is considered in multi-IMS monitoring and diagnosis. Planning environment of measurement experiments were determined at the training stage control system.

Keywords: control, sensing device, information, model, variance, factor, uncertainty.